

УДК 624.042

И.Я.ЛУЧКОВСКИЙ, д-р техн. наук, А.В.САМОРОДОВ, канд. техн. наук,  
С.В.ЕСАКОВА

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

## О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГИБКИХ ПОДПОРНЫХ СТЕН

Рассмотрены свайные шпунтовые стены, удерживающие многослойную засыпку, при этом учтено горизонтальное давление, передаваемое засыпкой на заанкеренную часть стены.

Розглянуто пальові шпунтові стіни, що утримують багатошарову засипку, при цьому враховано горизонтальний тиск, який передається засипкою на заанкерену частину стіни.

In the article describes sheet pile wall, retaining a multi-layer backfill taken into account the horizontal pressure of backfill on anchoring part of the wall.

*Ключевые слова:* свайная стенка, шарнир пластичности, упругая стадия, предельное состояние.

Следует отметить, что в существующей проектной практике горизонтальное давление  $g$ , возникающее в заанкеренной части гибких подпорных свайных стен со стороны засыпки (рис.1), не учитывается, а расчет напряженно-деформированного состояния подземной части сваи (шпунта) производится на действие равнодействующих  $Q_0$  и  $M_0$  на уровне заделки сваи [1]. Кроме того, расчет необходимого количества рабочей (продольной) арматуры свай либо несущей способности шпунтов производится на действие внутренних усилий, определяемых по упругой стадии работы стены, опирающейся на Винклерово основание с линейно возрастающим по глубине значением коэффициента постели [2, 4].

Такая практика расчета гибких стен связана, с одной стороны, с недооценкой дополнительной нагрузки  $g$ , а с другой – с игнорированием запаса прочности стен в предельном состоянии в системе «свая - грунт».

На рис.1 приведена расчетная схема гибкой подпорной стенки в упругой стадии и предельном состоянии при распределении эпюры коэффициента постели в виде трапеции

$$C_z = C_0 + K \cdot z. \quad (1)$$

Здесь  $C_0$  – коэффициент постели в уровне заделки сваи в грунт;  $K$  – коэффициент пропорциональности; и эпюры параметра прочности;

$$a_z = a_0 + a_1 \cdot z, \quad (2)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$  – прочностные параметры.



$g_m$  – дополнительная нагрузка на заглубленную часть сваи на 1 п.м длины стены

$$g_m = (q + \sum_1^n \gamma_i \cdot h_i) \cdot \lambda_{am} ; \quad (3)$$

$\lambda_{am}$  – коэффициент бокового давления грунта  $m$ -го слоя заглубленной части сваи;

$M_T$  – предельный изгибающий момент, воспринимаемый расчетным сечением сваи.

### 1. Упругая стадия работы сваи и грунтового массива

Величины усилий и деформаций в сваях стены в упругой стадии с треугольной эпюрой коэффициента постели определяются в соответствии с «Руководством по проектированию свайных фундаментов» (далее «Руководство») [2], а в случаях с трапециoidalной эпюрой коэффициента постели применяется метод «фиктивных начальных параметров» [3] или решения А.С. Малиева [4].

### 2. Определение несущей способности сваи в предельном состоянии

В предельном состоянии, наступающем при образовании пластического шарнира в зоне предельного равновесия грунта на глубине  $t$  (рис.2), должны выполняться два условия:

$$Q_t = 0 ; \quad (4)$$

$$M_t = M_T . \quad (5)$$

Из условия (4) получим

$$Q_0 + gt - a_0 t - \frac{a_1 t^2}{2} = 0. \quad (6)$$

Затем, после некоторых преобразований, найдем значение глубины  $t$ :

$$t = \frac{1}{a_1} \left[ (g - a_0) + \sqrt{(g - a_0)^2 + 2a_1 \cdot Q_0} \right]. \quad (7)$$

Из условия (5) после сокращения на  $b_p$  найдем требуемое значение предельного изгибающего момента  $M_T$

$$M_T = b_p \left[ M_0 + Q_0 t + (g - a_0) \frac{t^2}{2} - \frac{a_1 t^3}{6} \right]. \quad (8)$$

### 3. Пример расчета

В качестве примера рассмотрим свайную стенку из свай диаметром  $D = 1$  м (рис.3), при следующих исходных данных:  $H = 6$  м;  $l = 12$  м;  $q = 0$ .

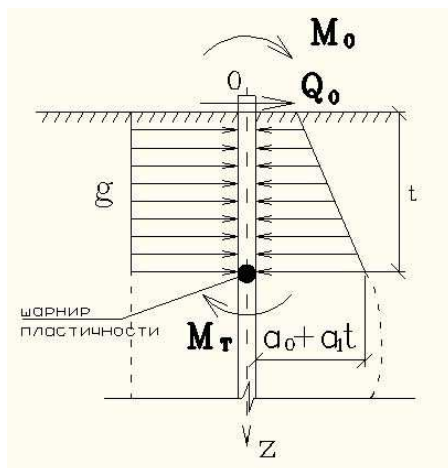


Рис.2 – Схема предельного состояния заглубленной части сваи

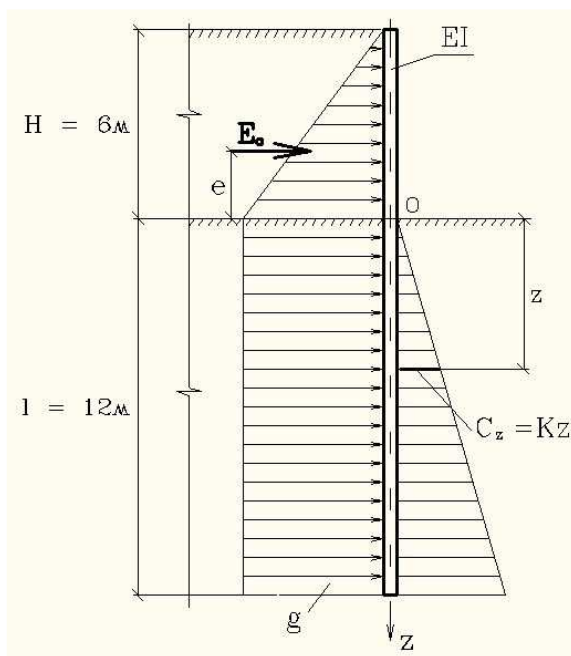


Рис. 3 – Расчетная схема к примеру

Грунт по всей высоте свай имеет следующие характеристики:  
 $\varphi = 30^\circ$  (песок);  $K = 600 \text{ тс/м}^4$ ;  $a_1 = 6,0 \text{ тс/м}^3$ ;  $a_0 = 0$ .

Жесткость одной сваи  $EI = 1,37445 \cdot 10^5 \text{ тс} \cdot \text{м}^2$ .

Коэффициент деформации  $\alpha_g = 0,337 \text{ м}^{-1}$ .

Приведенная длина заглубленной части сваи  $\bar{l} = l \cdot \alpha_g \approx 4$ .

Рассмотрим четыре варианта расчета свайной стенки.

1. Расчет в упругой стадии по методике, изложенной в «Справочнике проектировщика» [1], без учета дополнительной нагрузки  $g$ .

В соответствии с «Руководством» [2], построим эпюру моментов от внешних нагрузок  $Q_0 = 12 \text{ тс}$ ,  $M_0 = 24 \text{ тс} \cdot \text{м}$ , по глубине заделки сваи (рис.4, а). В этом случае максимальный момент равен:

$$M_{\max} = 46,15 \text{ тс} \cdot \text{м},$$

что соответствует глубине  $z = 1,12 / \alpha_g = 3,32 \text{ м}$ .

2. Расчет в упругой стадии с учетом дополнительной нагрузки  $g$ .

Используя решение А.С. Малиева [4], найдем моменты от дополнительной нагрузки  $g = 4 \text{ тс/м}^2$  (рис.4, б). По высоте сваи, суммируя величины полученных моментов с величинами, полученными из расчета по «Руководству» [2], определим максимальный момент по результирующей эпюре (рис.4, в).

$$z = 3,32 \text{ м}; M_{\max} = 54,76 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

3. Расчет по предельному состоянию системы «свая-грунт» без учета дополнительной нагрузки  $g$ .

По формулам (6)-(8) найдем:

$$t = 2 \text{ м}; M_T = 40 \text{ тс} \cdot \text{м} < M_{\max} = 46,15 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

4. Расчет по предельному состоянию с учетом дополнительной нагрузки  $g$ .

По формуле (7) найдем

$$t = \frac{1}{6} (4 + \sqrt{16 + 2 \cdot 12 \cdot 6}) = 2,775 \text{ м},$$

а по формуле (8) при  $b_p = D = 1 \text{ м}$  и  $g = 4 \text{ тс/м}^2$  получим

$$M_T = 24 + 12 \cdot 2,775 + 4 \cdot \frac{2,775^2}{2} - \frac{6 \cdot 2,775^3}{6} = 51,33 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

*Выводы:*

1. В существующей практике проектирования сооружений гибких подпорных стен, представленной в «Справочнике проектировщика» [1], с одной стороны не учитывается горизонтальное давление, возникающее в погруженной в грунт части гибких подпорных стен со стороны засыпки, что вызывает недооценку реальных нагрузок. С другой стороны, игнорируется запас прочности системы «стенка-грунт» в предельном состоянии.

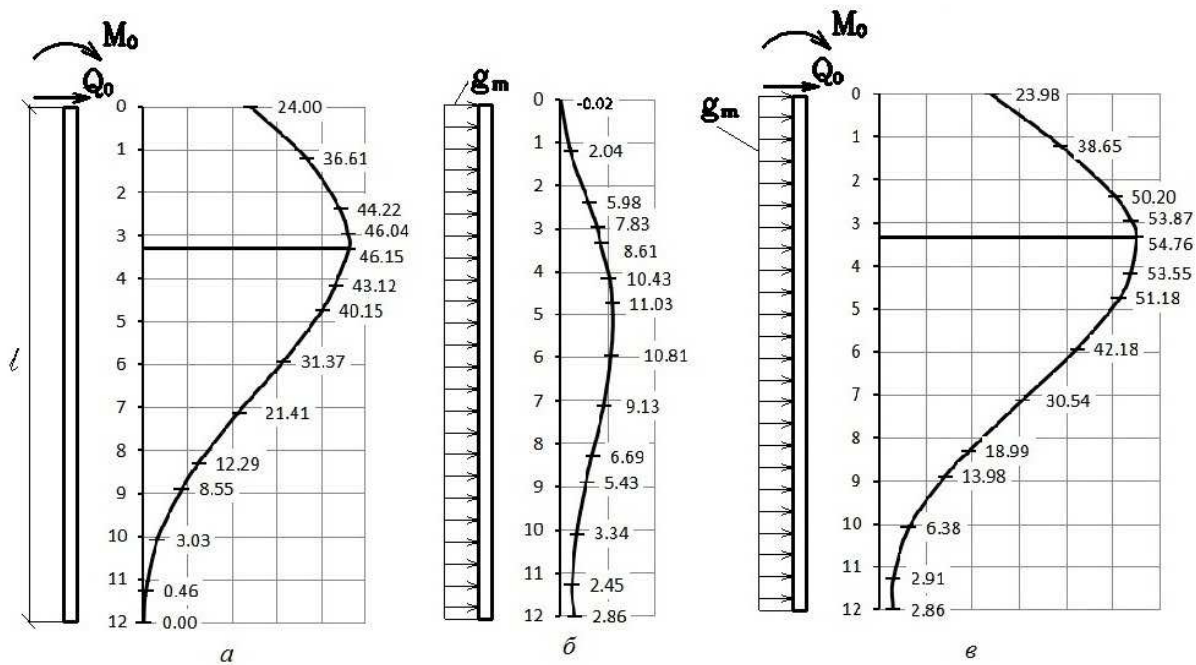


Рис. 4 – Эпюры изгибающих моментов:

*a* – по «Руководству» [2]; *б* – из решения А.С. Малиева [4]; *в* – суммарная.

2. Приведенный в качестве примера расчет свайной стенки свидетельствует о том, что результаты вычислений по «Руководству» [2] для упругой стадии работы системы «стенка-грунт», а также в предельном состоянии без учета нагрузки  $g$  дают заниженное значение момента. Максимальная величина момента в предельном состоянии с учетом равномерно распределенной нагрузки находится ближе к поверхности засыпки, что приводит к неправильной оценке работы стенки и может вызвать ее разрушение.

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.

2. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсаванова Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980.

3. Лучковский И.Я. Взаимодействие конструкций с основанием // Библиотека журналу ГТЕ. Т.3. – Харків: ХДАГХ, 2000. – 264 с.

4. Малиев А.С. Балки на упругом основании с переменным по их длине коэффициентом постели // Тр. Ленинград. ин-та инженеров промышленного строительства. Вып.6. – Л.: ГОНТИ, 1938. – С.9-34.

Получено 27.04.2012

УДК 624.015.5

В.М.ДЖУРА, канд. техн. наук, О.В.КРИВОРУЧЕНКО

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

### **ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТИСНУТИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ З УРАХУВАННЯМ ДЕФОРМУВАННЯ ПІД ДІЄЮ НАВАНТАЖЕННЯ**

Наведено методику оцінки напружено-деформованого стану стиснутих трубобетонних елементів кільцевого перерізу з урахуванням деформування під дією навантаження.

Приведена методика оценки напряженно-деформированного состояния сжатых трубобетонных элементов кольцевого сечения с учетом деформирования под действием нагрузки.

The article contains methodology of calculation of stress-strain state of compressed ring section pipe concrete construction. Methodology take into account the warping of the element from loading under condition eccentric compression.

*Ключові слова:* деформація, елементарна ділянка, напруження, трубобетон.

Останнім часом у світі спостерігається розвиток і впровадження будівельних конструкцій з раціональним сполученням сталі та бетону. Одним із різновидів таких конструкцій є трубобетонні конструкції, які мають оптимальну конструктивну форму, зручні при виготовленні та експлуатації. Для проектування таких конструкцій необхідно викори-